

Энергетический путь глюкозы

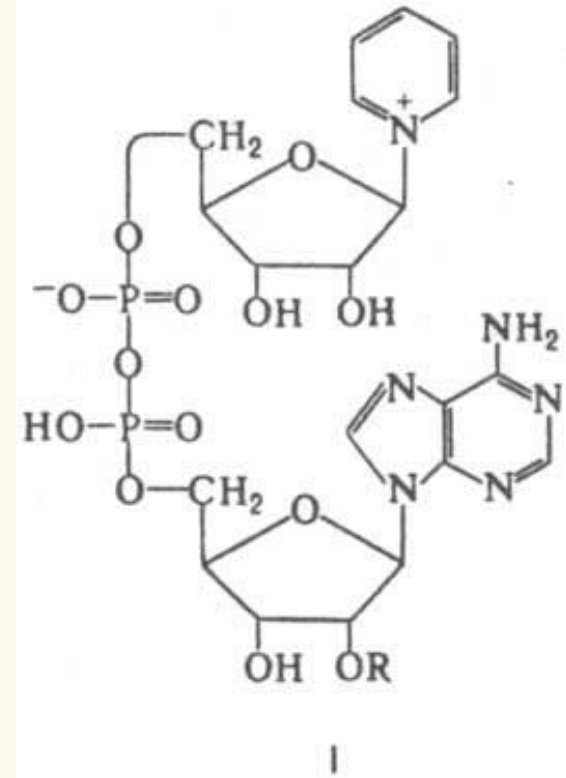
—

Путь получения энергии

Участвующие лица и общая информация

Есть два основных способа получения энергии:

- Перенос электронов на цепи переноса электронов с помощью никотинамидадениндинуклеотида (NAD, он на картинке) или флавинадениндинуклеотида (FAD). Он из состояния NAD^+ и FAD^{2+} восстанавливаются в состояние NAD^*H и FAD^*H_2 , получая электроны из субстрата.
- Получение АТФ\ГТФ напрямую прямым дефосфорилированием. ГТФ по энергетике равнозначен АТФ.



Гликолиз. Первый этап.

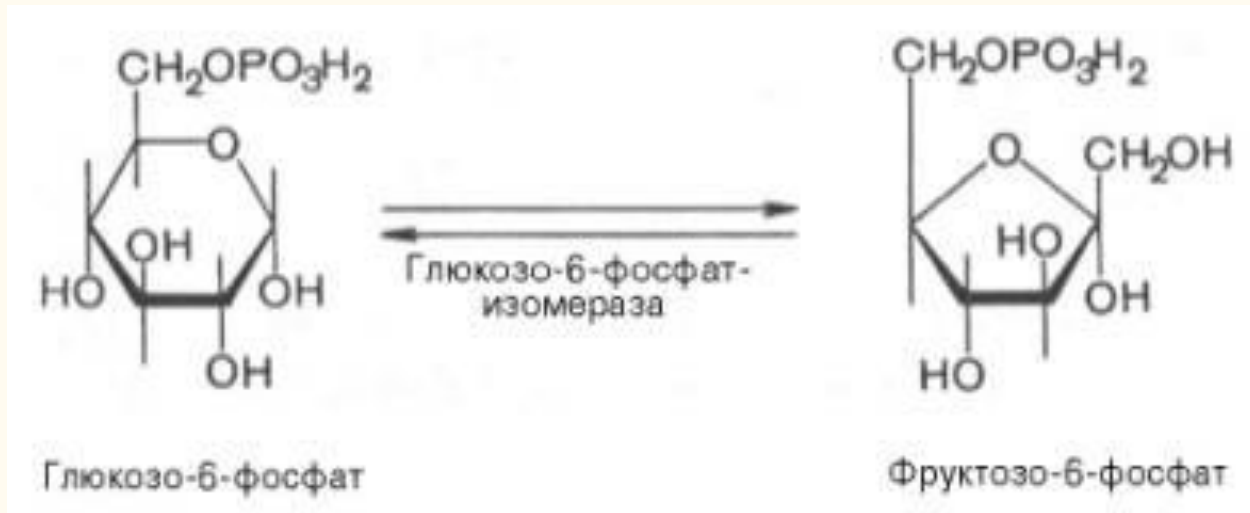
Данная стадия характеризуется **5 этапами** превращения глюкозы. 2 раза она фосфорилируется с затратой 2 АТФ, чтобы после дефосфорилироваться с получением NAD*H. Каждая р-ция проходит при участии ферментов ниже под стрелкой. Некоторые р-ции обратимы, они обозначены стрелками



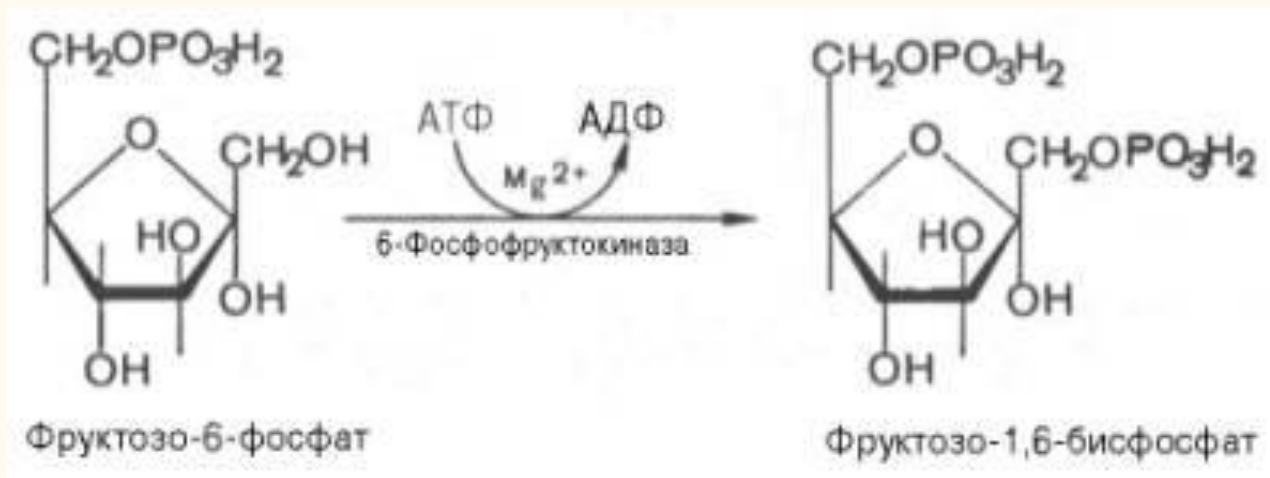
Глюкоза \rightarrow Глюкозо-6-фосфат (-1 АТФ)



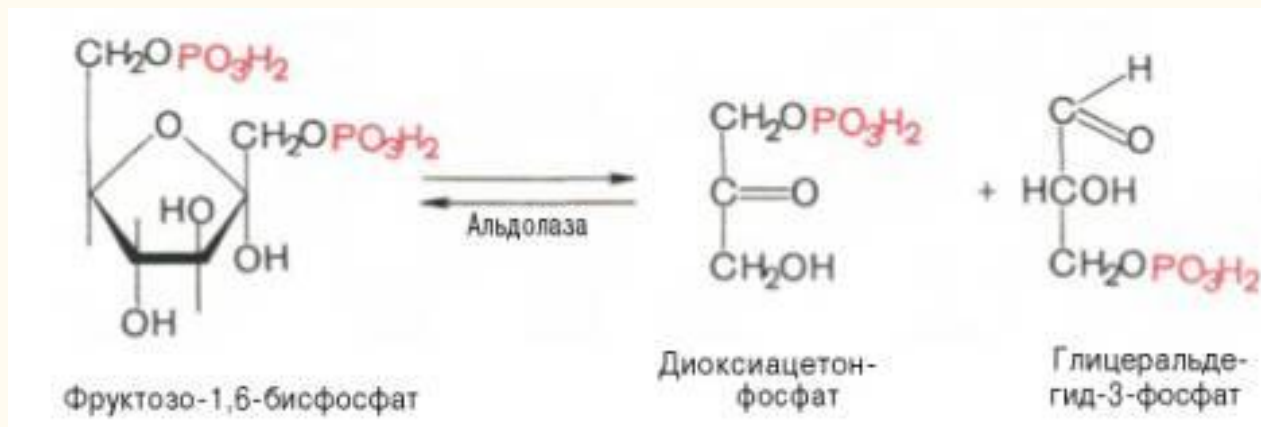
Глюкоза-6-фосфат \longleftrightarrow Фруктоза-6-фосфат (изомеризация)



Фруктоза-6-фосфат \rightarrow Фруктоза-1,6-бисфосфат
(-1 АТФ)



Фруктоза-1,6-дифосфат \leftrightarrow Диоксиацетон-фосфат
 \swarrow
Глицеральдегид-3-фосфат



Диоксиацетон-фосфат \longleftrightarrow Глицеральдегид-3-фосфат



ИТОГИ ПОДГОТОВИТЕЛЬНОЙ СТАДИИ ГЛИКОЛИЗА

- Глюкоза перешла в **2** молекулы глицеральдегид-3-фосфата.
- **-2 АТФ**

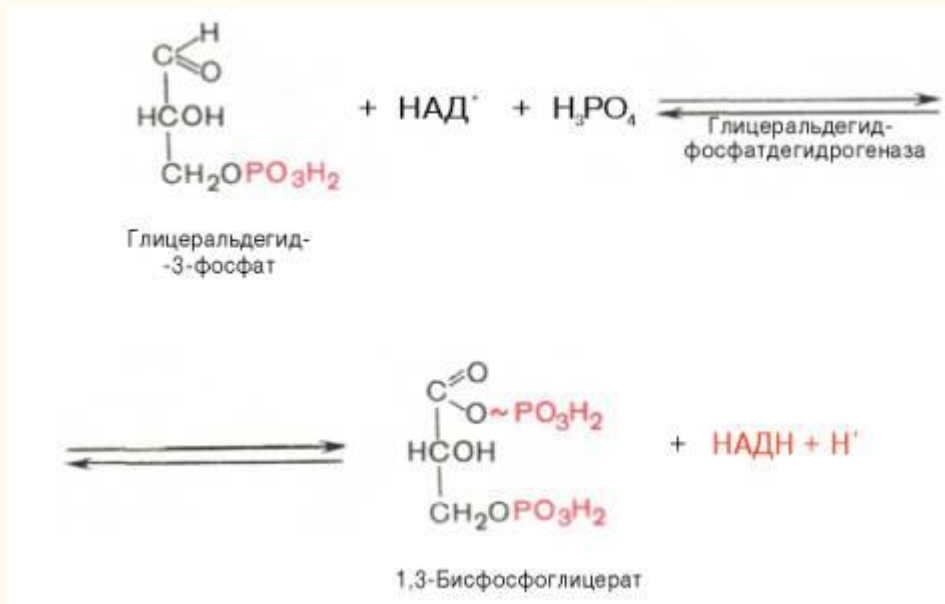
Таким образом, мы “насадили” 1 фосфат на глюкозу, превратили её во фруктозу, “насадили” ещё 1 фосфат и разделили пополам. Получилось 2 молекулы глицеральдегид-3-фосфата. Каждая “насадка” фосфата требовала 1 молекулу АТФ (АТФ отдавал свой фосфат), поэтому суммарное уравнение можно записать как:

- **2 АТФ  2 АДФ**

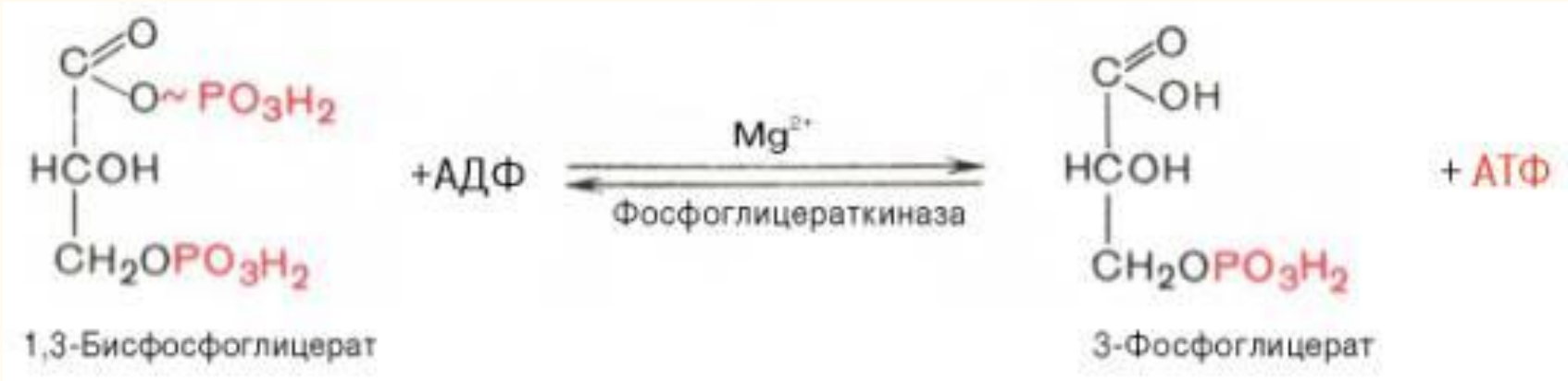
Гликолиз. Возвратная стадия (возвращаем АТФ)

Данная стадия характеризуется **5** этапами получения **пирувата** с попутным получением **4 АТФ** (по **2 АТФ** с **2** молекул глицеральдегид-3-фосфата), а также **2 восстановленных NAD*H**. По сути самые важные изменения происходят именно в этом этапе.

Глицеральдегид-3-фосфат \longleftrightarrow 1,3-дифосфоглицерат (+ NAD*H)



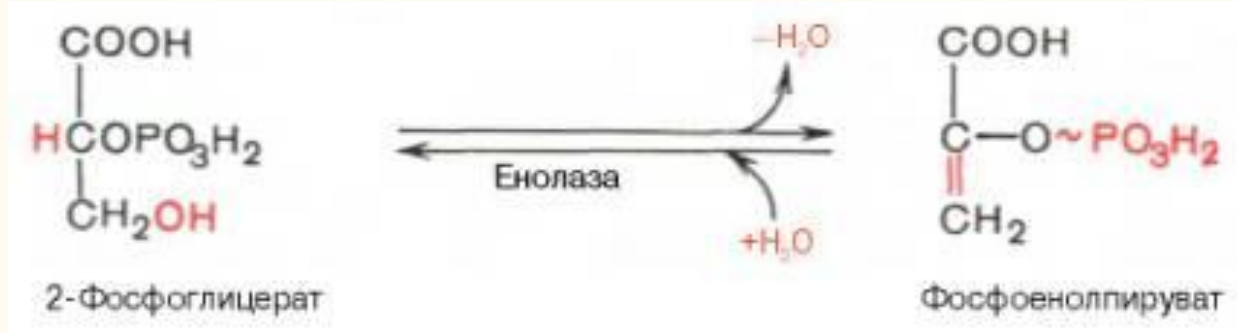
1,3-дифосфоглицерат ↔ 3-фосфоглицерат (+АТФ)



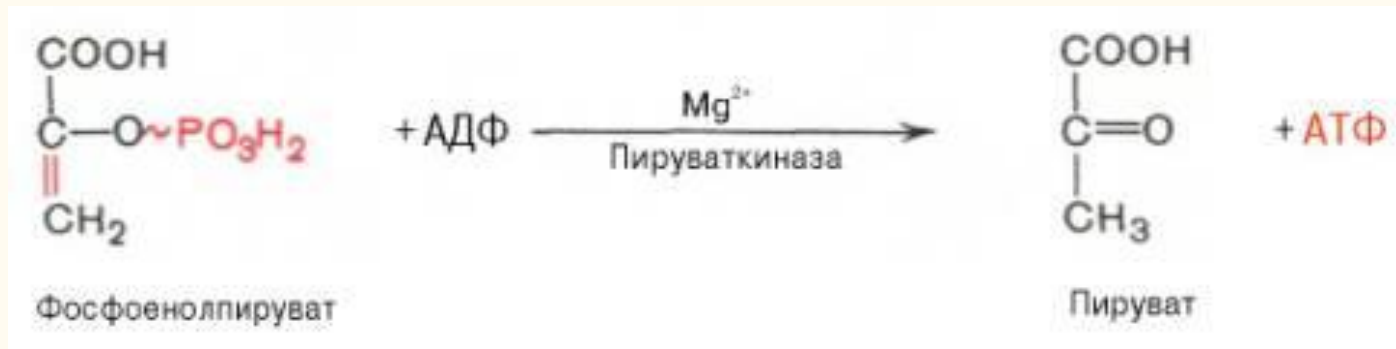
3-фосфоглицерат ↔ 2-фосфоглицерат



2-фосфоглицерат \longleftrightarrow фосфоенолпируват
(+H₂O)



Фосфоенолпируват \longrightarrow Пируват (+АТФ)



ИТОГИ ВОЗВРАТНОЙ СТАДИИ ГЛИКОЛИЗА

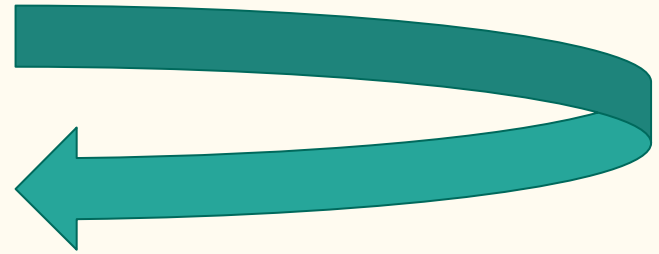
- В возвратной стадии участвовало 2 молекулы глицеральдегид-3-фосфата (назовем его ГАФ), значит **результаты удваиваются.**
- С 1 молекулы ГАФ образовался 1 НАД*Н, 2 АТФ, 1 Н₂O
- Значит, с 2 молекул ГАФ (1 молекулы глюкозы) 2 НАД*Н, 4, АТФ, 2 Н₂O
- Итоговое уравнение возвратной стадии выглядит как:

4 АДФ + 2 НАД = 4 АТФ + 2 НАД*Н + 2 Н₂O

ИТОГ ГЛИКОЛИЗА:

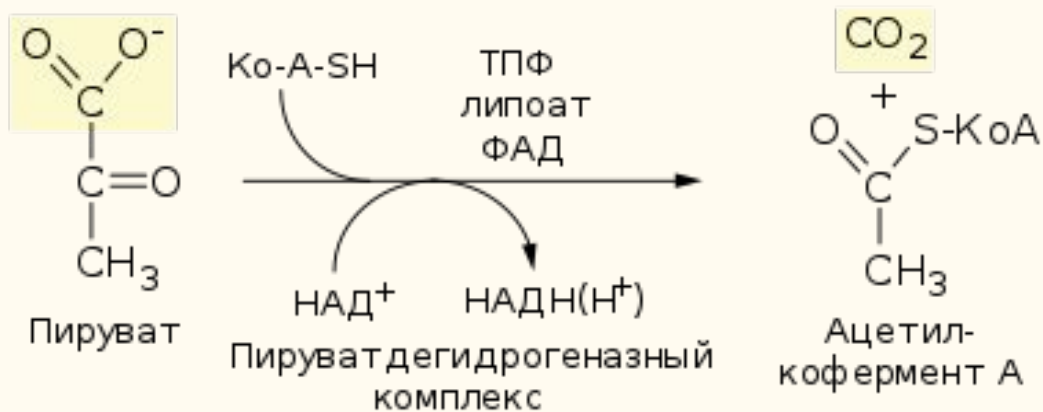
$C_6H_{12}O_6 + 2NAD(+) + 2ADP + 2(P)$

$2C_3H_4O_3 + 2NAD^*H + 2ATP + 2H_2O + 2H(+)$



Окислительное декарбоксилирование пирувата

Чтобы вступить в **цикл трикарбоновых кислот**, пируват должен превратиться в ацетил-кофермент А (**ацетил-СоА**). Окислительное декарбоксилирование одного пирувата даёт 1 молекулу NAD^+H . Но так как с 1 моль глюкозы образуется 2 пирувата, в итоге образуется 2 NAD^+H .



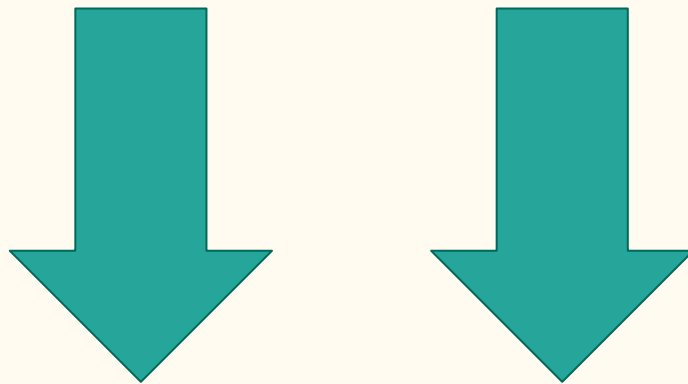
Цикл Кребса



Цикл трикарбоновых кислот состоит из 10 цикл. реакций. Смысл: получение 3 NAD^*H , 1 ГТФ (энергетически равен 1 АТФ), 1 FAD^*H_2 . Побочные продукты: 2 CO_2 , $CoA-SH$. Так как мы имеем 2 молекулы ацетил- CoA , то цикл идёт 2 раза. Итого получаем: **6 NAD^*H + 2 FAD^*H_2 + 2 АТФ + побочные продукты**

Суммарный выход от 1 молекулы глюкозы

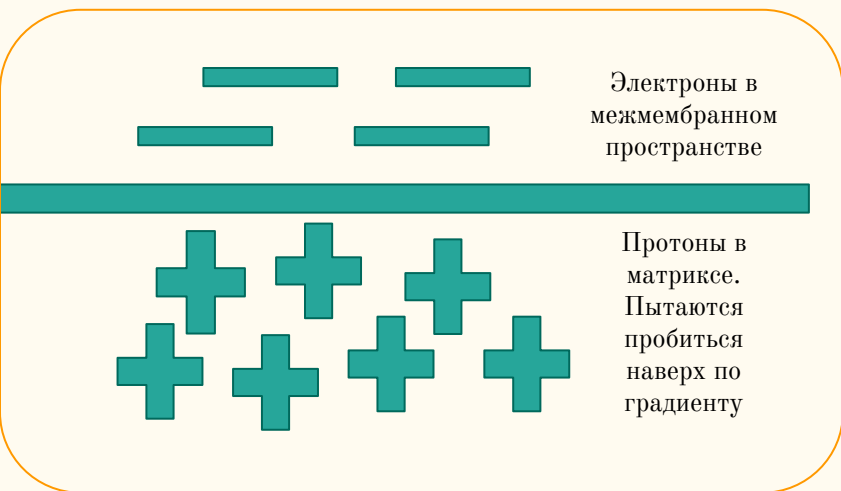
$C_6H_{12}O_6$ + вспомогательные вещества



$10 \text{ NAD}^*H + 2 \text{ FAD}^*H_2 + 4 \text{ АТФ}$

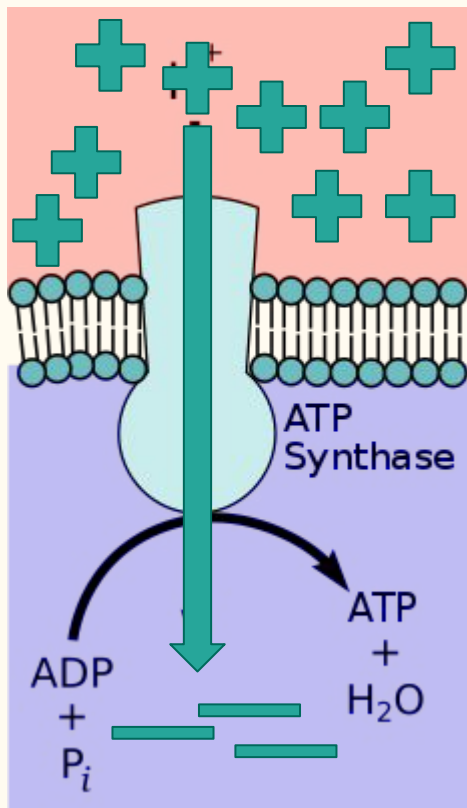
В чем смысл переносить электроны?

Далее NAD^*H и $\text{FAD}*\text{H}_2$ идут в дых. цепь (цепь переноса электронов) на мембрану митохондрии, чтобы создать протонный градиент. Так как противоположные заряды притягиваются, протоны стремятся покинуть матрикс и выйти к электронам в межмембранное пространство.



- **1 NAD^*H** даёт **10** молекул протонного градиента.
- **1 $\text{FAD}*\text{H}_2$** даёт **6** молекул протонного градиента.

Цепь переноса электронов.



Природа научилась использовать градиентный поток в своих целях. Установленная в мембрану **АТФ-синтаза** (грибовидное тело) при прохождении сквозь неё протонов вращается, образуя АТФ.

- Для синтеза 1 молекулы АТФ нужны 3.333 молекулы протонного градиента
- **1 НАД*Н = 10 молекул п.г.**, значит **1 НАД*Н даёт 3 АТФ**
- **1 ФАД*Н₂ = 6 м.п.г.**, значит **1 ФАД*Н₂ даёт 2 АТФ**

Суммарное уравнение всего

Сначала посчитаем, что и в каком кол-ве мы получили:

- $\text{NAD}^*\text{H}...$ 2 из гликолиза + 2 из окисл. декарбок. + 6 из ц. Кребса = 10 NAD^*H
- $\text{FAD}^*\text{H}...$ 2 из ц. Кребса = 2 FAD^*H_2
- АТФ... 2 из гликолиза + 2 из ц. Кребса = 4 АТФ (свободные)

$$10 \text{ NAD}^*\text{H} = 30 \text{ АТФ}$$

$$2 \text{ FAD}^*\text{H}_2 = 4 \text{ АТФ.}$$

$$30 \text{ АТФ (NAD}^*\text{H)} + 4 \text{ АТФ (FAD}^*\text{H}_2) + 4 \text{ АТФ (свободные)} = 38 \text{ АТФ}$$

1 молекула $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$



38 АТФ

P.S. ВНИМАНИЕ!

В презентации умышленно пропущены некоторые моменты (не описаны пентозофосфатный путь и ферменты ЦТК, не упомянуты 4 комплекса в дых. цепи), чтобы облегчить восприятие нового и сложного материала.

В современных учебниках биохимии (Ленинджер) принято считать, что для синтеза АТФ нужны 4 протона. В таком случае градиента от 1 NAD^*H будет хватать лишь на 2,5 АТФ, а не на 3. От $\text{FAD}*\text{H}_2$ будет соответственно 1.5 АТФ, а не 2. Исходя из новых данных выход 1 мол. глюкозы будет не 38 АТФ, а 32 АТФ. **На ЕГЭ глюкоза всегда даёт 38 АТФ.**